

رسائل جغرافية

٣٢٦

استعراض أشكال سطح الأرض  
بطريقة شمالية الاتجاه  
طريقة تجريبية مقترحة

د. علي بن معاضة الغامدي

أستاذ مشارك في نظم المعلومات الجغرافية وخرائط الحاسب الآلي

قسم الجغرافيا - جامعة الملك سعود

جمادى الآخرة ١٤٢٨ هـ

يوليو ٢٠٠٧ م



طبعت بداعم كريم من مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## استعراض أشكال سطح الأرض بطريقة شمالية الاتجاه

د. علي بن معاضة الغامدي

### أولاً: مقدمة

إن الهدف الرئيس للخرائط هو نمذجة الواقع؛ فالخريطة عبارة عن نموذج للواقع. وهذا النموذج معني بتمثيل الواقع كما هي أبعاده الزمانية والمكانية. فالخريطة تهتم بتمثيل البعد الثالث (3D) للمكان وتصوره بما يوحى للمستخدم أنه يرى فعلاً تفاصيل الظاهرة كما هي عليه في الواقع. وبالرغم من أن الخرائطين قد أدركوا مبكراً أهمية تمثيل البعد الثالث في الخرائط، إلا أن التطورات التي حدثت في برامج ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) سهلت مهمة هذا التمثيل وطرق استعراضه. وبما أن أكثر الظواهر ارتباطاً بالبعد الثالث هي ظاهرة السطح الأرضي (Terrain) أو السطح الطبوغرافي، فإن ضرورة تمثيل هذا السطح في هذه النظم استلزم تقديم طرق مختلفة متاحة للمستخدم والمحلل بهدف تمثيل واستعراض البيانات الرقمية التي عادة ما تكون في شكل نماذج ارتفاعات آلية (DEM)، في شكل ثلاثي. إن أهمية تمثيل البعد الثالث من خلال وجود قيم الارتفاعات (Z) في هذه النماذج لا تقتصر على الاستعراض (Visualization)، بل تمتد إلى عمليات كشف وتمثيل العلاقات بين الظواهر. على أن البعد الثالث قد لا يشمل الارتفاع فقط بل يشمل تمثيل أي قيمة خاصة

بظاهرة ما بهدف عرضها وتحليلها في شكل ثلاثي الأبعاد، وهذا ينطبق على الظواهر الخلوية (Raster) المتصلة، مثل ظاهرة التساقط أو الحرارة أو ظاهرة الجريمة.

ويعد نموذج الارتفاع الآلي (DEM) نموذجاً رياضياً قوياً لتمثيل السطح الأرضي أو الطبوغرافي. ويستخدم هذا النموذج بشكل مكثف في النمذجة المكانية وخاصة النمذجة البيئية. ويعد من أهم مدخلات ومخرجات نظم المعلومات الجغرافية. وتكمن قوة هذا النموذج في كونه مصدراً لمخرجات مشتقة لبيانات ومعلومات مكانية للسطح مثل الانحدار وواجهة الانحدار وخطوط الكنتور والتظليل (Hillshading)، والتي تعد مدخلات أخرى في مجال النمذجة والتحليل. كما يتميز هذا النموذج في كونه الأساس الذي نستطيع من خلاله رؤية تفاصيل السطح وذلك بإنتاج سطح مظلل مشتق من النموذج. إذن، يعد النموذج مهماً في عملية الاستعراض المرئي (Visualization) التي تعد من العمليات المهمة في فحص تمثيل البيانات بصرياً كأحد القدرات التي تتميز بها نظم المعلومات الجغرافية. إذ تتيح لنا هذه الطريقة رؤية تفاصيل السطح بطريقة الظلال من خلال هذا النموذج. وليست عملية التظليل هذه شيئاً جديداً، فقط كانت تستخدم في الخرائط إذ تُنفذ بطرق يدوية اتسمت بالصعوبة الفنية وطول فترة التنفيذ. أما الآن فإنها قد تتم في ثوانٍ تقريباً بفضل هذه النظم وبرامج خرائط الحاسب الآلي.

يهتم هذا البحث بموضوع الاستعراض المرئي لتفاصيل السطح الأرضي (Terrain details) في نماذج الارتفاع الآلي. يقارن البحث بين طريقتين: الأولى، وهي الطريقة التقليدية المعروفة بالتظليل (Hillshading)، والثانية وهي طريقة يقترح الباحث استخدامها والمسماه بشمالية الاتجاه (Northness)، كطريقة بديلة يرى الباحث أنها أفضل من الطريقة الأولى في إبراز تفاصيل السطح الأرضي في نموذج الارتفاع الآلي.

## مشكلة الدراسة:

تعد عملية التظليل طريقة مألوفة يمكن تنفيذها بسهولة في نظم المعلومات الجغرافية وغيرها من برامج خرائط الحاسب الآلي، وذلك بهدف عرض تفاصيل السطح للقارئ ليستشف بشكل سريع طبيعة مظهر وتفاصيل السطح الطبوغرافي من واقع بيانات نموذج الارتفاع الآلي. غير أن الباحث وجد أن هذه الطريقة لا تصف الواقع أحياناً وصفاً يماثل طبيعة وتوزيع وحدة التفاصيل التي تتضمنها بيانات نموذج الارتفاع الآلي. وفي الحقيقة أن مثل هذا الوصف التمثيلي متوقع، لأن طريقة الظلال هذه هي طريقة عامة تبنى على فكرة وجود مصدر ضوء من مكان ما وتسجيل الظل المنعكس عند كل خلية في النموذج حسب طريقة معينة سيأتي شرحها لاحقاً. وكما هو متوقع، فالظلال (Shadow) يمكن أن يكون مختلفاً حسب ارتفاع وزاوية مصدر الضوء. وفوق ذلك كله يكون تمثيل التفاصيل تمثيلاً تقريبياً أو معمماً. وبالرغم من أن هذه العملية هي لأغراض فنية جمالية أثناء العرض أكثر منها للتحليل فعادة ما يتم تجاهلها من قبل المستخدمين، إلا أن المستخدم في الواقع في حاجة لأن يعرف تفاصيل السطح بأقرب ما يمكن، حسب ما هو موجود في نموذج الارتفاع الآلي على الأقل، وحتى لو ظهر السطح أكثر تضرساً. فعملية التظليل - كما يراها الباحث - لا يجب أن تكون عملية تضليل، إذ لا بد أن تقرب الواقع حتى لو كانت عملية جمالية أو لأغراض العرض الفني الخرائطي، وليست عملية تعميم بالضرورة. لهذا يرى الباحث أن هذه مشكلة يمكن البحث فيها واقتراح بدائل لدعم تمثيل الواقع بأفضل ما يمكن خاصة وأن البيانات نفسها يجب عرضها بأفضل ما يمكن. فبيانات السطح موجودة في النموذج والمستخدم لا يريد أن يجري عملية تعميم خرائطي لهذه البيانات، لذا فإنه من الأفضل البحث عن طرق أفضل لاستعراض تفاصيل السطح كما تحويها بيانات نماذج الارتفاع الآلي، وهذا موضوع هذه الدراسة.



## أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى فحص نتائج طريقة التظليل الشائعة في نظم المعلومات الجغرافية وأثرها على إبراز تفاصيل السطح الأرضي من نماذج الارتفاع الآلي. كما تبحث في كيفية جعل عملية التظليل أفضل كفاءة من خلال اقتراح استخدام طريقة بديلة. وتحاول الدراسة أن تناقش قضية وضوح تفاصيل السطح من خلال المقارنة بين الطريقة التقليدية والمقترحة.

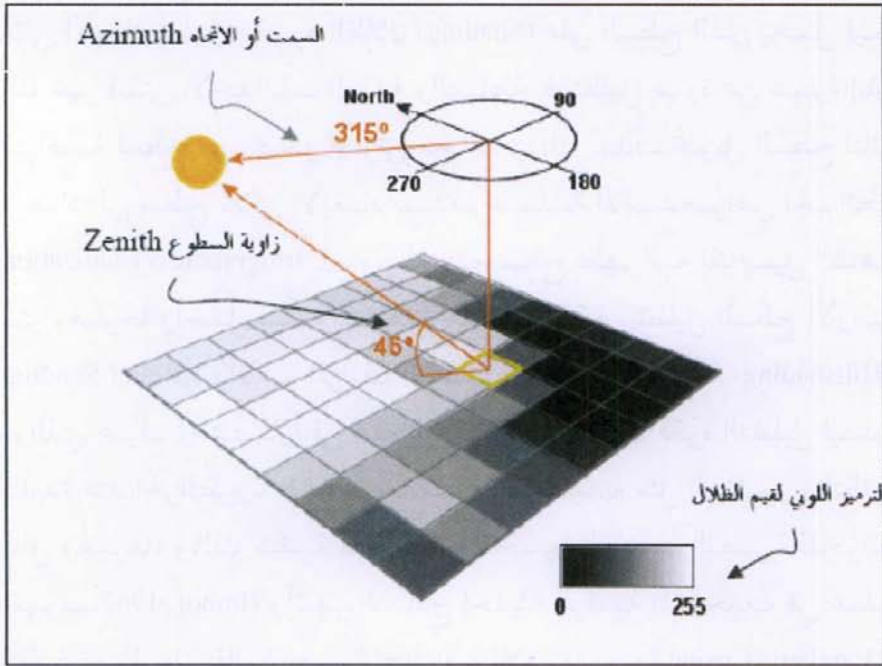
## ثانياً: خلفية

إن التصوير الخرائطي أداة فعالة لفهم الكيانات والظواهر الجغرافية وعلاقاتها المكانية) ماك إيخرون وآخرون (McEachren, et al., 1999) غير أن هذا التجريد أو التصوير قد توسع فأصبح الاتجاه إلى ما يعرف بالتمثيل الواقعي أو الاستعراض الواقعي (Realistic or Virtual Visualization) الذي يعزز جوانب الإدراك المكانية للمستخدم، بالإضافة إلى أنه أداة قوية لتحصيل المعرفة المكانية للواقع أكثر ما يوحيه تمثيل الخرائط التقليدية (شن وآخرون 2002, Chen, et al., 2002). وليس ثمة غرابة في ذلك إذا علمنا أن العقل البشري يأنس للتمثيل الثلاثي للواقع فيسهل له تصوره وإدراكه. إن التمثيل الثنائي للظواهر في الخرائط يعد قصوراً في العملية الخرائطية التقليدية، إذ يقود إلى فقدان المعلومات وصعوبة الفهم عند المستخدم (فيربري وآخرون 1999, Verbree, et al., 1999). ومع ذلك، وبالرغم من أن عملية التظليل تعد تمثيلاً ثنائياً في الحقيقة إلا أن الظلال (Shadow) الممثل يوحى بالبعد الثالث للمستخدم. إن هناك إمكانية أكبر لجعل هذا التمثيل والايحاء أفضل، وهذا ما تحاول هذه الورقة أن تبينه وتناقشه.

إن عملية التظليل طريقة من طرق الاستعراض الثلاثي البعد، إلا أنها تعتمد على تصوير الواقع من خلال تحويل الشكل الثنائي الأبعاد إلى شكل

ثلاثي الأبعاد بتطبيق مفهوم الظلال (Shading) على السطح الذي يحمل قيمة  
ثالثة غير قيمتي الاحداثيات السينية والصادية. فالتظليل عبارة عن عملية إنارة  
افتراضية لسطح من مصدر ضوئي محدد. وذلك بهدف تحويل السطح ثنائي  
الأبعاد إلى سطح ثلاثي الأبعاد بهدف عملية الاستعراض الخرائطي  
(Cartographic Visualization). وبهذا ينتج سطح تظهر فيه تفاصيل الظاهرة  
أكثر وضوحاً وأجمل فنياً. وتستخدم هذه الطريقة في تظليل السطح الأرضي  
(Relief Shading)، والاسم المرادف أو المشهور هو تظليل التلال (Hillshading)  
، والذي عرّف اختصاراً في هذه الورقة بالتظليل. إن فكرة التظليل ليست  
جديدة عند الخرائطين، فقد استخدمت طرقاً تقليدية مثل الهاشور والتظليل  
المائل وغيرها، وذلك كتقنية فنية مهمة لتحسين السمات البصرية للخرائط  
(Imhof, 1982) وأشهر النماذج الحديثة الرقمية المستخدمة في عملية  
التظليل مبنية على قانون جيب تمام الزاوية للامبرت (Lamberts Cosine Law).  
ويستند هذا القانون على النظرية البصرية التي تقرر بأن سطوع (Brightness)  
أي مساحة صغيرة لسطح متموج تماماً يتغير مع تغير جيب تمام الزاوية  
(Cosine) للضوء الساقط المتوازي.

وتنتج العملية شبكة خلوية ثنائية تترواح فيها القيم بين الواحد (1) لعدم  
وجود ظلال و صفر (0) في وجود الظلال، وذلك عند كل خلية في هذه الشبكة.  
وتتحد القيم عند كل خلية من خلال العلاقة بين زاوية ارتفاع مصدر الضوء أو  
الشمس الافتراضية وتسمى بزاوية السطوع (Zenith)، وزاوية الاتجاه (أو السمات)  
(Azimuth) لمصدر الضوء عند كل خلية (شكل ١)، وهذه الطريقة هي الأشهر في  
معظم نظم المعلومات الجغرافية. ويمكن ربط العلاقة بين زاوية الضوء واتجاه  
ودرجة انحدار السطح عند كل خلية. وفي النتيجة المعطاة عادة في النظم يكون  
الظل (Shadow) والضوء (Light) عبارة عن طيف أو مدى ظلال رمادي يُرمز بقيم  
لونية صحيحة تتدرج من (0) للون الأبيض) فاتح تماماً- أعلى حدة لوجود ضوء).



شكل ١: طريقة عمل تحليل التظليل (Hillshading Analysis). عملية التظليل تحسب إنارة السطح كقيم تتدرج من الصفر (٠) إلى ٢٢٥، تحسب على أساس اتجاه مصدر الضوء الافتراضي (الشمس) وحسب ارتفاع مصدر الضوء. (المصدر بتصرف: ESRI, 1996)

إن تغيير زاوية اتجاه ٢٥٥ للون الأسود) معتم تماماً- لا يوجد ضوء) إلى الضوء يؤثر على مقدار تعرض الخلايا لمصدر الضوء، في حين أن تغيير زاوية السطوع أو ارتفاع مصدر الضوء يؤدي إلى تغيير في طول الظل الملقى خلف كل خلية. ويتبع معظم المستخدمين تقليداً يستند إلى ما اقترحته هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، بأن درجة ٤٥ (درجة)، وزاوية الارتفاع ٣١٥ الأفضل من الناحية الخرائطية أن تكون زاوية الاتجاه هي الشمال الغربي).

يتعدى استخدام التظليل، في الحقيقية، أغراض العرض الخرائطي، إلى أغراض مهمة أخرى. فبينما يكون استخدام التظليل كهدف بحد ذاته لإظهار



تفاصيل أو خصائص السطح، أو يكون الهدف استخدام طبقة التظليل كخلفية لطبقات أخرى أكثر أهمية، إلا أن التظليل يفيد في إبراز تفاصيل السطح لأغراض ليس لها علاقة بالسطح الأرضي، إذ يمكن الاستعانة بالتظليل في عدد من مجالات الدراسة كأداة بحثية مساعدة. فيمكن استخدام التظليل في إبراز تفاصيل نتيجة عملية سطحية مثل دراسة غط وتوزيع الأخطاء الناتجة من عمليات الاشتقاق المكاني (Spatial Interpolation)، انظر على سبيل المثال، وود (Wood, 1996). وفي مجال الأبحاث الحيوية، يكون التظليل مفيداً وأحياناً أساسياً في فهم ذلك الكائن العضوي أو الحي الذي يرتبط مكان عيشه أو سكناه بوجود ضوء الشمس. وفي مجالات الدراسات الجيولوجية، تعد تأثيرات ضوء الشمس مهمة لبعض العمليات مثل التجوية الميكانيكية لذوبان التجمد، و في نمذجة عمليات ذوبان الجليد، وأي عملية لها علاقة بضوء الشمس في الواقع.

ومن المجالات التطبيقية أيضاً لتحليل التظليل، إمكانية استخدام السطح المظلل في استخراج بيانات مشتقة تحدد تفاصيل السطح. فقد استخدم زاكسك وبودوبنيكار (Zaksek and Podobnikar, 2005) طريقة لاستخلاص الخطوط الهيكلية (Skeleton Lines) للسطح من نموذج الارتفاع الآلي المظلل، وليس نموذج الارتفاع نفسه، وذلك بتطبيق طريقة كشف الحواف (Edge Detection) المعروفة بالذات في نظم الاستشعار عن بعد. ويبين الباحثان أن نتائج تحليل التظليل تعتمد على الزوايا الناتجة من مصدر الضوء، حيث القيمة الناتجة تساوي قيمة جيب تمام الزاوية بين الموجه العمودي (Normal Vector) على السطح والموجه في اتجاه مصدر الضوء (شكل ١) وبما أن نتائج التحليل تعتمد على السمات (اتجاه مصدر الضوء، Azimuth) وأوج المسافة (الزاوية فوق المستوى الأفقي Zenith). يستطيع المستخدم أن يحسب الظلال الملقاة خلف عقبات أو تضرسات السطح، وظلال التلال التي تظهر نتيجة انحراف الانحدار بعيداً عن مصدر الضوء. وبما أن الظلال الملقاة أو المطروحة عادة تخفي خطوط انكسارات أساسية أو مميزة في

السطح تحت المنحدرات، لذا كان من الأنسب الكشف على الحواف بدلاً من استخدام استعمال ظلال التل فقط. إن هذه التطبيقات تؤكد على أهمية استخدام تحليل الظلال لما هو أبعد من عملية الاستعراض الخرائطي.

وهناك أكثر من طريقة لعملية التظليل (بكلي وبيمز, Buckley and Bames, 2004)، فهناك طريقة التظليل المعمم الذي يبدأ بتعميم السطح ثم يتبعها التظليل، وهناك ما يعرف بالطريقة السويسرية ويتم فيها توكيد الظواهر أو التفاصيل الجغرافية الكبيرة وتقليل التفاصيل الصغيرة، وصقل التذبذبات على المنحدرات، لكن تحافظ على خصائص أعالي الحواف المرتفعة وقيعان الأودية الضيقة، بحيث يمكن تمثيل المنطقة في شكل منظوري يجعل المرتفعات العالية أفتح والمنخفضات أغمق (بارنيز 2002, Barnes). وهناك طريقة الترجيح المائل المتعدد الاتجاهات (Multi-directional Oblique Weighting MDOW)، (مارك، 1992, Mark) وهي تبرز الإضاءة المائلة على كل السطح من اتجاهات مختلفة، بخلاف الطريقة التقليدية التي تركز على تركيبات السطح البارزة أصلاً وتخفي بعض تراكيب معالم السطح الأخرى المنخفضة عادة. وبهذه الطريقة يمكن تقديم تفاصيل أكثر في المناطق التي لا يمكن إضاءتها إلا بمصدر مباشر أو إبقاؤها في ظلام حسب مصدر الضوء. وهناك طريقة تجمع بين أكثر من طريقة وتوظيف الترميز اللوني لإخراج سطح اقرب للواقع، كأن تمثل الارتفاعات حسب نوع الظاهرة التي توجد عند كل ارتفاع.

ولقد قدم كنللي و كيمرلنق (Kennelly and Kimerling, 2001) ثلاثة بدائل لطريقة التظليل التقليدية، وشملت: (١) خطوط الكنتور المضاءة، (٢) وخطوط الهاشور، (٣) والرموز النقطية وذلك في إظهار التفاصيل الطبوغرافية للسطح. وتم عمل هذه الطرق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وذلك بهدف تحقيق نتائج بصرية أكبر كزيادة في تحسين القدرات الخرائطية لهذه النظم. لم تناقش

نتائج هذه الطرق في ضوء المقارنة مع طريقة التظليل التقليدية (الموجودة في النظم) ولكن قدمت رؤية ومزايا بصرية مختلفة الطرق، كلها ركزت على تمثيل التفاصيل الموجودة ثنائية الأبعاد مثل خطوط الكنتور إلى شكل ثلاثي الأبعاد من خلال تدرج القيم اللونية المبنية على قيم التفاصيل الموجودة وتغيير في القيم اللونية بطريقة آلية.

وقام نايبيرت (Nighbert, 1998) بتطوير عدد من الطرق لإنتاج ما أسماه «سطح تضاريسي جميل الرسم» من خلال دمج ألوان مبنية على الارتفاع مع تحليل التظليل. وتقوم فكرته الأساسية على تجزئة نموذج الارتفاع الآلي حسب الارتفاع وتخصيص ألوان لكل مدى معين من الارتفاعات، ثم فصل طبقات الألوان إلى طبقات خاصة باللون الأحمر والأخضر والأزرق. بعد ذلك ضمّن الباحث هذه الطبقات بنتائج التظليل. لقد كانت عملية فصل الألوان لثلاثة وعشرين جزءاً من السطح عملية ناجحة جداً، وعندما رُكبت مع التظليل أنتجت سطحا جميلا فعلاً. وأكد الباحث أن هناك طرقاً عديدة ممكنة بهذه الطريقة لإنتاج مثل هذا السطح، وذلك لأهمية إنتاج خرائط جميلة فنياً والتي تعد مطلباً مهماً للمستخدم.

نلاحظ أن مجال التظليل أخذ وسيأخذ نصيباً من الاهتمام من قبل مطوري ومستخدمي نظم المعلومات الجغرافية. وما هذه الورقة إلا إضافة إلى الموجود من الطرق بغرض تمثيل تفاصيل السطح بكفاءة أكبر. إلا أن الطريقة المقترحة تستخدم رؤية مختلفة قائمة على القدرات المتاحة في النظم نفسها، وهي تلك المتعلقة بقدرات العرض والترميز وتحليل خصائص السطح. إضافة إلى ذلك، فإن الطريقة المقترحة تعد طريقة سهلة ومباشرة وذات فعالية كبيرة، كما سيأتي في شرح الطريقة.



### ثالثاً: المنهجية

يستخدم البحث طريقة تحليلية معروفة في منهجيات البحث في الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية، وهي التحليل البصري (Visual Analysis)، والتي تعد نتاجاً للعمليات الحاسوبية والبرمجية التي تستخدمها هذه النظم في عرض المنتج النهائي. وعليه فإن الناتج سيكون في متناول القارئ ليرى ويقيم (بصرياً) من خلال هذا التحليل في ضوء ما يقدمه الباحث من أهداف وشروط، لذا فهي تعد أحد أقوى المنهجيات العلمية في تقويم كفاءة المنتج الخرائطي.

#### الطريقة المقترحة :

إن الباحث بعد أن استعرض عدداً من الطرق وطبقها كثيراً على تحليل التظليل، وجد أن الأفضل أن يتم تحديد الظلال عند كل خلية كما لو كان مصدر الضوء قيمة الخلية محسوبة حسب اتجاه معين، بحيث يتم بعدئذ تمثيل الظلال من خلال إعطائه قيمة لونية بشكل آلي. وبهذا يمكن تلافي مشكلة تغير مصدر الضوء وزاويته في الطريقة التقليدية، وتمثيل تفاصيل السطح بشكل واقعي أكبر. وبما أن أحد أهم اشتقاقات نموذج الارتفاع الآلي ذو علاقة بالاتجاه عند كل خلية، وهو اتجاه الانحدار (Aspect) فإنه من الطبيعي أن يستخدم هذا المنتج المشتق نفسه وربطه بطرق الترميز في أثناء التمثيل لتعكس كل خلية طبيعة اتجاهها ويظهر ذلك من خلال الترميز في شكل ثلاثي الأبعاد وليس كبعدين. ولتحقيق ذلك كان لابد أن يتم تنفيذ مرحلتين: الأولى، وهي تحويل قيم الاتجاه والتي تتراوح بين ٣٦٠ درجة، إلى قيم ريديانية (Radians) بحيث تنحصر بين - ١، ١ وهذا يتم من خلال استخدام جيب تمام الزاوية (Cosine) أو جيب الزاوية (Sine) لقيم اتجاه الانحدار. فيما أن اتجاه الانحدار يعد متغيراً دائرياً (Circular variable) فإننا بحاجة إلى تحويله إلى متغير مشتق (Derived variable)، وبذلك ينتج لنا متغيرين الأول يسمى بشمالية الاتجاه (Northness) وينتج من تحويل اتجاه الانحدار إلى قيم



ريدانية باستخدام جيب تمام الزاوية، والثاني ينتج لنا متغيراً يسمى بشرقية الاتجاه (Eastness) باستخدام جيب الزاوية. هذا لأن في اتجاه الانحدار التقليدي (٠ إلى ٣٦٠ درجة) نجد أن الفرق بين صفر درجة و ٣٦٠ درجة هو في الحقيقة درجة واحدة، لكن الدرجة الواحدة فيها قيم مختلفة بشكل كبير. وعلى العكس من ذلك نجد أن في شمالية الاتجاه مثلاً، أن قيمة واحد (١) تشير إلى أقصى الشمال تماماً وتدرج القيمة لتصل إلى الصفر (باتجاه الشرق والغرب، تماماً) ثم إلى عكس الشمال تماماً وهي جهة الجنوب تماماً والتي تكون القيمة -١، وعليه فإن المنتج أو المتغير المشتق يعبر لنا مدى اتجاه السطح نحو الشمال والجنوب، أو يركز على الاختلافات بين الشمال والجنوب. وكذا الحال بالنسبة لمتغير شرقية الاتجاه الذي نستخدم فيه جيب الزاوية (Sine) لاتجاه الانحدار، حيث تدل قيمة واحد (١) على الشرق تماماً، وعكسها الغرب تماماً (-١)، في حين أن الصفر يشير إلى الشمال والجنوب تماماً. وبذلك يكون لدينا سطح يركز على الفرق بين الشرق والغرب. إن طريقة التحويل هذه ليست جديدة فقد استخدمت في الستينيات من القرن الميلادي الماضي، طريقة مقترحة من قبل بيرز وآخرون (Beers et al., 1966) وكان الهدف إنتاج قيم متصلة (Continuous values) لقيم اتجاه الانحدار من خلال عملية التحويل هذه، وذلك لتسهيل التعامل رقمياً للأغراض البحثية التي تستخدم متغيرات مختلفة تستلزم أشكالاً معينة من القيم بحيث يمكن أن تدخل في العمليات الرياضية والإحصائية بشكل صحيح. ولقد استخدمت هذه الطريقة في عدد من الدراسات والنماذج المتعلقة ببعض الظواهر الحيوية والبيئية التي يدخل فيها عامل ضوء الشمس كمتغير مهم في الدراسة، مثل ذوبان الجليد والأحياء الدقيقة التي تتأثر بيئتها بهذا العامل، هذا بالإضافة إلى أن متطلبات الدراسة الإحصائية والرياضية وعملية النمذجة بشكل عام في دراسة مثل هذه الظواهر تحتاج إلى عملية التحويل هذه (انظر على سبيل المثال Clark, Molotch, et al., 2004 Deems, et al., 2002 et al., 1999, Guisan, et al., 1999,

(Dahms, et al, 2005 Molotch, et al., 2005 Hirzel, et al., 2004). ومن الجدير بالذكر أن بعض الدراسات مثل دراسة مولوتش وآخرين (Molotch, et al, 2004) قد حددت استخدام متغير شمالية الاتجاه من خلال عملية حسابية جمعت بين جيب تمام الزاوية لمواجهة الانحدار (Cosine Aspect) وجيب زاوية الانحدار (Sine Slope)، وذلك من خلال ضرب هذين المتغيرين في بعضهما البعض. هذا أدى إلى تغيير مقصود في قيم شمالية الاتجاه وذلك حسب طبيعة متطلبات الدراسات والنماذج التطبيقية التي أجراها أولئك الباحثون. غير أن هذه الدراسات التي طبقت هذا التحويل لم تكن معنية باستخدام الطريقة من وجهة الاستعراض الخرائطي، ولم تشر إلى قابلية وكفاءة هذه الطريقة في عملية التظليل. لذا يقدم هذا البحث طريقة التحويل هذه بعد تطبيقها واختبارها كطريقة مقترحة للاستخدام في التظليل. بقي أن نشير إلى تحديد أي المتغيرين الذي يمكن أن نستخدم، هل هو متغير شمالية الاتجاه أو شرقية الاتجاه، في تحديد معالم أو تفاصيل السطح؟ لقد تم اعتماد متغير شمالية الاتجاه وذلك لسبب رئيسي وهو أننا نريد أن نقارن نتائج تطبيق هذه الطريقة بنتائج الطريقة التقليدية والتي غالباً ما يكون فيها مصدر الضوء في الجهة الشمالية بشكل عام، وبهذا يكون لدينا معيار منطقي لمقارنة النتائج. إضافة إلى ذلك، فإن الباحث قد وجد من تطبيق ثانوي (لم يعرض هنا) على طريقة التحويل باستخدام جيب الزاوية (Sine) أن تفاصيل السطح لم تكن ظاهرة بشكل واضح كما هي في نتائج تطبيق التحويل باستخدام جيب تمام الزاوية. وعلى كل حال، يبقى السبب الرئيسي أعلاه هو المهم في هذا البحث.

لقد استخدم الباحث برنامج Spatial Analyst™ وبرنامج 2D Analyst™ ضمن حزمة ArcGIS™ الخاص بنظم المعلومات الجغرافية (ESRI, 1999-2004). وقد تم تنفيذ العملية باستخدام الآلة الخلوية (Raster Calculator) كالتالي:

Cosine [aspect\_grid deg

واستخدام deg هنا بهدف التحويل إلى قيم ريديانية، وذلك حسب إرشادات استخدام برنامج Spatial Analyst™. أما تطبيق التظليل بالطريقة التقليدية (Hillshading) الموجودة في برنامج D Analyst3 فقد تم تحديد مصدر الضوء حسب زاوية اتجاه قدرها ٣١٥ درجة، وقيمة ٤٥ درجة (الشمال الغربي) وارتفاع الضوء حسب زاوية قدرها Z الخاصة بتحويل قيم الارتفاعات تساوي ١ دون تغيير). يعد ذلك تم استخدام طريقة الترميز بلون واحد متدرج للقيم الناتجة وهي طريقة الألوان الممتدة (Stretched Color Ramp)، وهذا لكلا الطريقتين.

## البيانات :

يطبق هذا البحث على مجموعتين من البيانات. الأولى بيانات ارتفاع آلي موجودة في حزمة ArcGIS™ (شكل ٢)، وهي لمنطقة قليلة التضرس نسبياً، والأخرى بيانات ارتفاع آلي أيضاً خاصة بمنطقة مألوفة للباحث، وتقع في منطقة الباحة في جنوب غرب المملكة العربية السعودية (شكل ٨)، وقد اختيرت بالذات لسببين؛ الأول وهو كونها تتميز بتضرسها وبالتالي تفاوت قيم الارتفاع بحيث يمكن رؤية تأثير تطبيق طريقتي التظليل وتقييمهما بشكل أفضل، والثاني كون المنطقة مألوفة للباحث. فالسبب الأول يقيم لنا النتيجة على أساس تنوع تضاريس السطح، والثاني على أساس مصداقية النتائج بالنسبة للواقع. وبهذا يمكن مقارنة نتائج التطبيق بالطريقتين بشكل علمي ومنطقي.

## معيار المقارنة :

كما أشار الباحث سابقاً، فإن منهجية التحليل تستخدم طريقة الاستعراض المرئي كوسيلة فعالة في عرض النتائج والحكم عليها بصرياً. فمن خلال عرض النتائج ومقارنتها فسوف يكون المعيار مدى وضوح واختلاف تفاصيل السطح باستخدام الطريقتين. وسيكون ذلك معروضاً وواضحاً للقارئ ليحكم بنفسه بصرياً على النتائج.



## رابعاً: النتائج

### (أ) منطقة الدراسة الأولى :

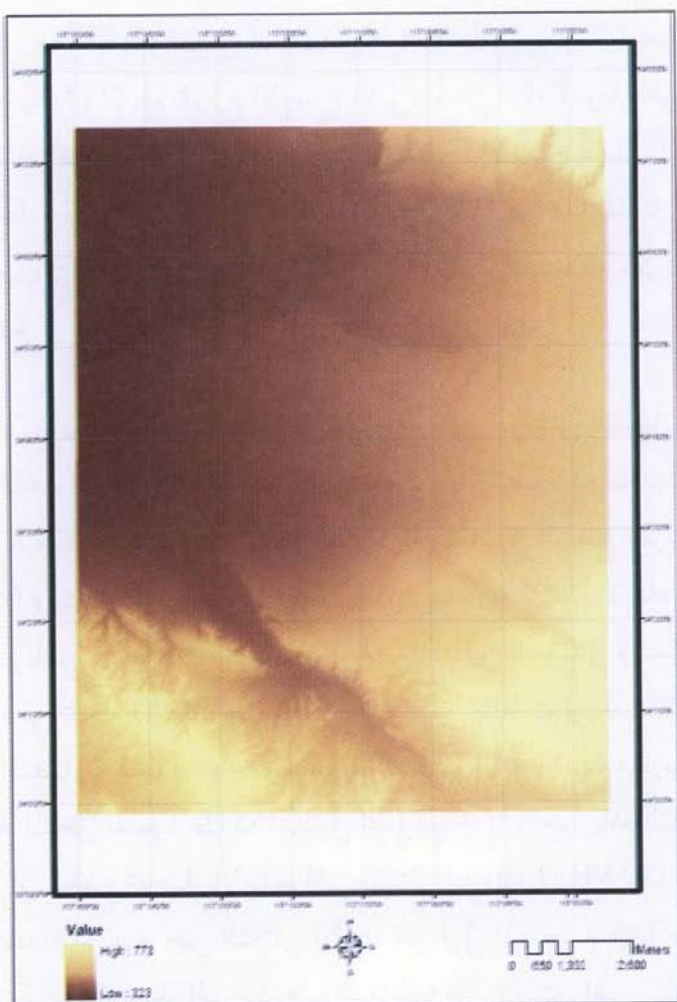
تتميز منطقة الدراسة الأولى (شكل ٢) بقلة تضرسها نسبياً عدا الجزء الشمالي الشرقي وفي أقصى الجنوب منها. ويتراوح الارتفاع فيها بين ٣٢٣ و ٧٧٣ متراً، بمتوسط ارتفاع ٤٤٨ متراً، وانحراف معياري ٨٣,٢ متراً، ودرجة وضوح ١٠ أمتار مربعة. ويبين قلة التضرس شكل (٣) بشكل واضح بعد تطبيق طريقة التظليل التقليدية.

نجد في شكل (٣) بعد عرض طبقة التظليل بالطريقة التقليدية مع نموذج الارتفاع الآلي، أن تأثير التظليل أقرب إلى تعميم تضاريس السطح بسبب طبيعة عمل الطريقة نفسها، في حين أن طريقة شمالية الاتجاه تظهر طبيعة شكل السطح على مستوى تفصيلي (محلي) أكبر، فتكون أقرب للواقع الذي يريد المستخدم أن يعرفه. إذ أن بطريقة التظليل بشمالية الاتجاه في شكل (٤) نلاحظ بروز تفاصيل السطح بشكل أوضح مما هو في شكل (٣). فنلاحظ أشكال الانكسارات في وسط وشمال المنطقة كيف تبدو بوضوح لتعبر بواقعية أكبر عن طبيعة السطح الطبوغرافي في المنطقة، وربما توحى بطريقة عمل إنتاج أو اشتقاق السطح بطرق الإدراج البيني أو الاشتقاق (Interpolation). مثل هذا التمثيل والإخراج أو الاستعراض يعد مهماً جداً للمستخدم لمثل هذه التطبيقات والتحليلات المتقدمة، التي تريد أن تعرف نتائج طريقة الإدراج من منظور قياس واستعراض الخطأ. وعطفاً على شرح طريقة التظليل التقليدية، من المهم أن ندرك أن القيم الناتجة من هذه العملية هي محولة تماماً إلى قيم ضوئية تمثل الانعكاس وتتراوح بين ٠ و ٢٥٥، لذا لا يمكن استنتاج قيم تدل على الاتجاه. وعلى العكس من ذلك، نجد أن قيم شمالية الاتجاه تُحسب مباشرة وتُمثل ويمكن استنتاج الاتجاه منها، لذا كان وضع المفتاح ضرورياً لها، كما في شكل (٤).

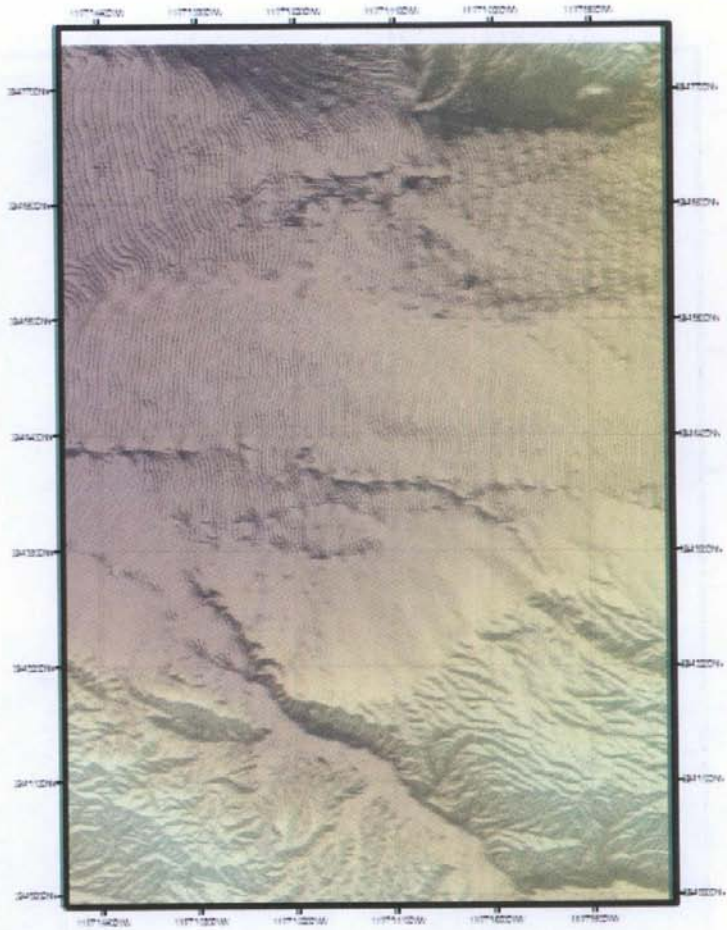


نلاحظ أيضاً أنه بالرغم من أن عرض طبقة التظليل بطريقة شمالية الاتجاه (بدرجة شفافية ٤٥٪) مع نموذج الارتفاع الآلي (شكل ٥)، كطريقة عرض تحسن عملية الاستعراض وإبراز والتقاط تفاصيل السطح، إلا أن طبقة التظليل بطريقة شمالية الاتجاه وحدها (شكل ٤) تغني عن هذه المطابقة في هذا الشكل في قضية إبراز التفاصيل. إذ أن التفاصيل في شكل (٤) تعطي المستخدم فكرة وافية عن طبيعة السطح.

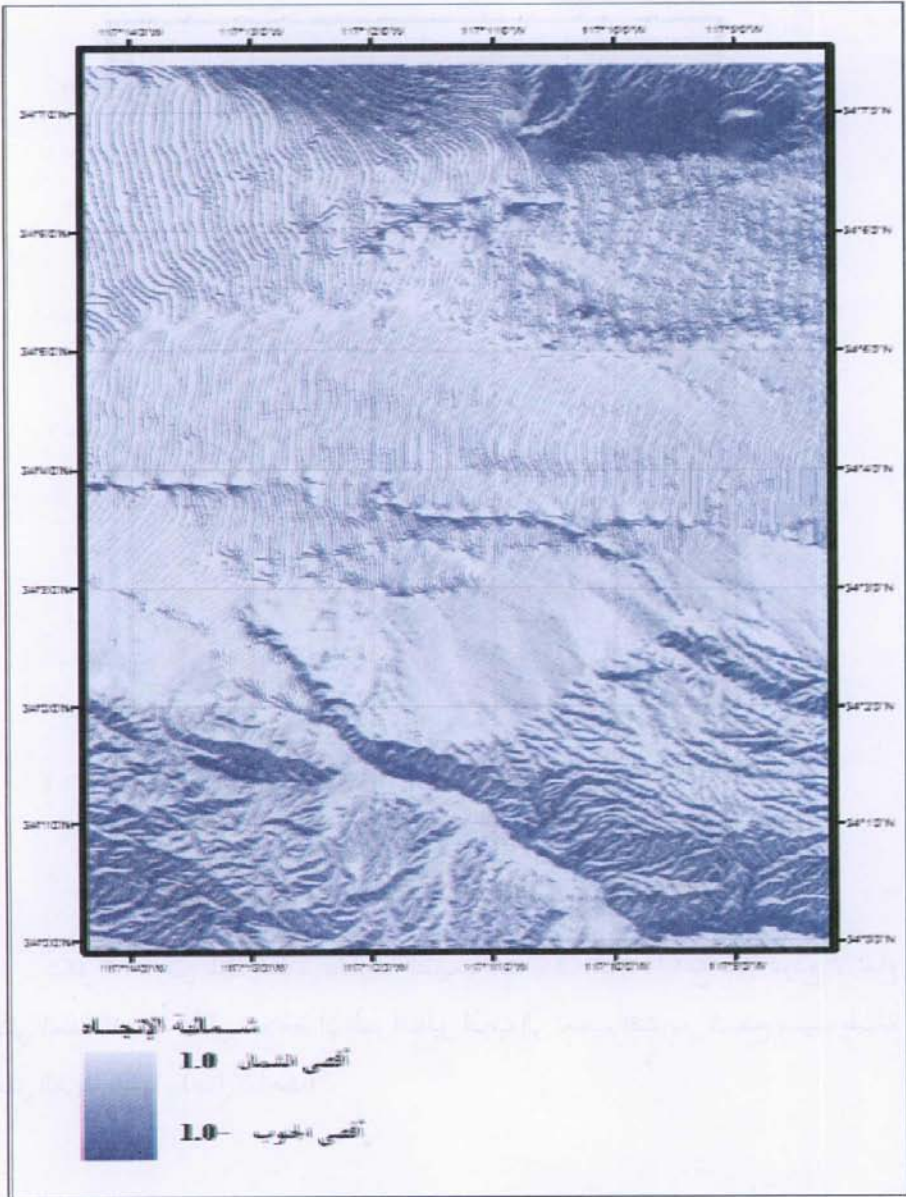
ولتوضيح المقارنة أكثر، نجد من مقارنة نتائج طريقتي التظليل التقليدية وشمالية الاتجاه للجزء الجنوبي الشرقي (شكل ٦). كيف تبدو تفاصيل السطح بطريقة شمالية الاتجاه (ب) أكثر وضوحاً مقارنة بتفاصيل السطح بطريقة التظليل التقليدية (أ) والتي أنتجت تفاصيل معمة. وفي مقارنة ثلاثية الأبعاد (شكل ٧) باستخدام برنامج ArcScene™ لنتائج طريقتي التظليل التقليدية وشمالية الاتجاه لنفس الجزء في شكل (٦) نلاحظ وضوح التفاصيل بالذات في (ب) المشار إليها بالأشكال البيضاوية (اللون الأحمر) بطريقة شمالية الاتجاه (ب) مقارنة بتفاصيل السطح عند المناطق نفسها بطريقة التظليل التقليدية (أ). وتعد زيادة التفاصيل من وجهة نظر المستخدم خاصة بالاستعراض الثلاثي (3D Visualization) أمراً مهماً، ففكرة استخدام الاستعراض الثلاثي الأبعاد من قبل المستخدم هو الكشف على أكبر قدر ممكن التفاصيل التي يصعب التقاطها من الاستعراض الثنائي البعد. وعليه، نجد أن طريقة التظليل بشمالية الاتجاه أنتجت سطحا أكثر تفصيلاً وعبرت بطريقة أكثر واقعية عن بيانات نموذج الارتفاع لهذه المنطقة مقارنة بما أنتجته طريقة التظليل التقليدية.



شكل ٢: نموذج الارتفاع الآلي لمنطقة الدراسة الأولى (المصدر: ESRI, 1999-2004)

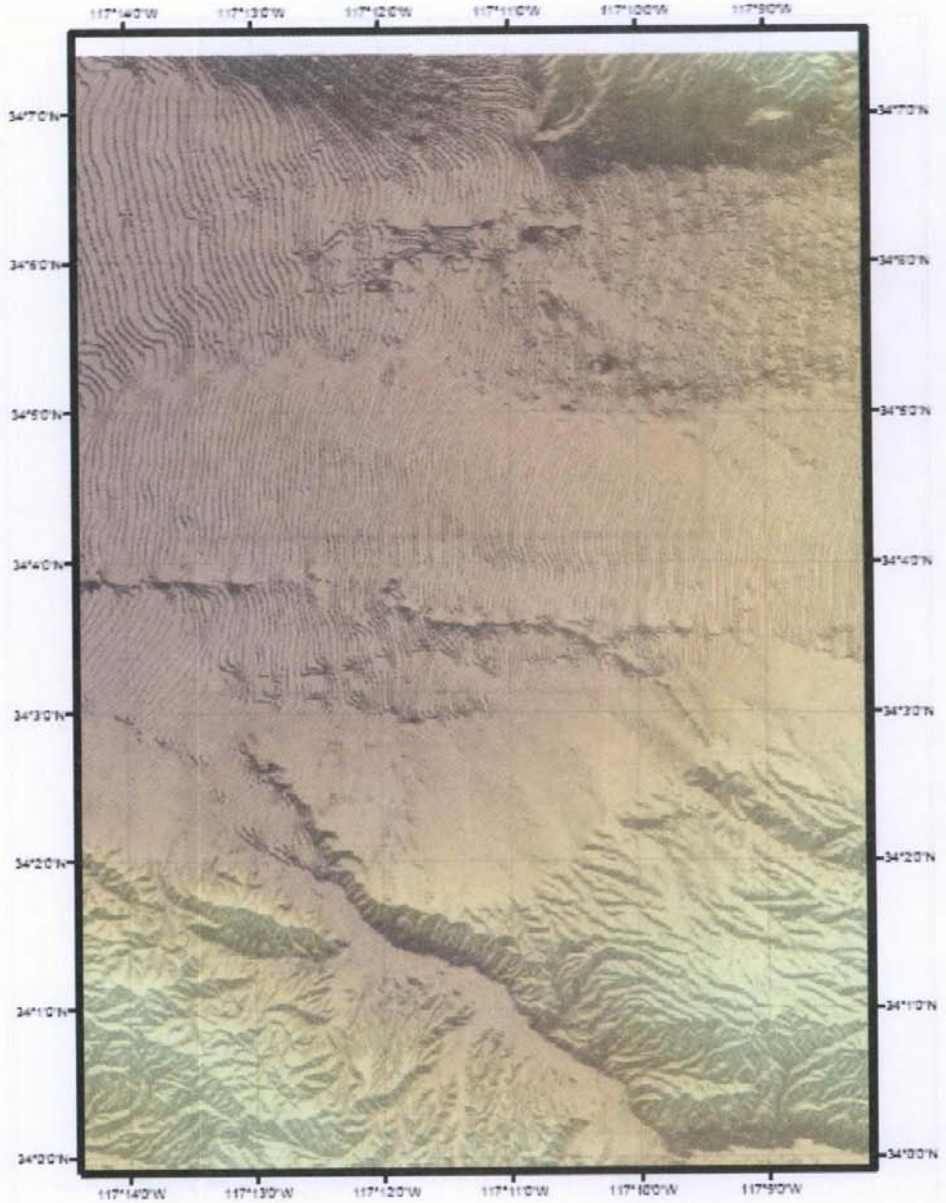


شكل ٣ : عرض طبقة التظليل بالطريقة التقليدية (بنسبة شفافية ٤٥٪) مع طبقة نموذج الارتفاع  
الأكلي لمنطقة الدراسة الأولى . نلاحظ أن تأثير التظليل أقرب إلى تعميم تضاريس السطح بسبب طبيعة  
عمل الطريقة نفسها . (عمل الباحث)

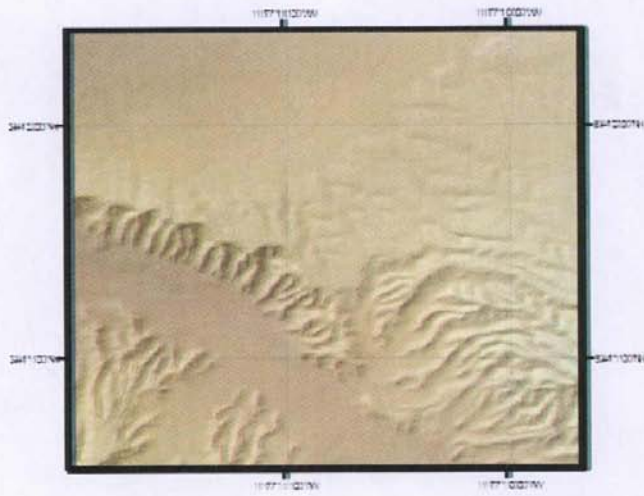


شكل ٤: نتائج طريقة التظليل بشمالية الاتجاه لمنطقة الدراسة الأولى. نلاحظ بروز تفاصيل السطح بشكل أوضح مما في شكل (٣)، كما نلاحظ أشكال الانكسارات في وسط وشمال المنطقة كيف تبدو بوضوح لتعبر بواقعية أكبر عن طبيعة السطح الطبوغرافي في المنطقة، وربما توحى بطريقة عمل إنتاج أو اشتقاق السطح. (عمل الباحث).

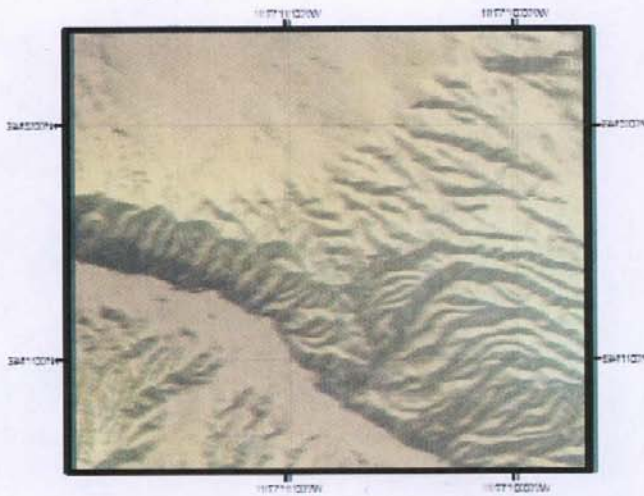




شكل ٥: عرض طبقة التظليل بطريقة شمالية الاتجاه (بنسبة شفافية ٤٥٪) مع نموذج الارتفاع الآلي لمنطقة الدراسة الأولى. بالرغم من أن عملية التطابق بين التظليل وسطح الارتفاع تحسن عملية الاستعراض وإبراز والتقاط تفاصيل السطح، إلا أن طبقة التظليل بطريقة شمالية الاتجاه وحدها (شكل ٤) تغني عن هذه المطابقة في هذا الشكل في قضية إبراز التفاصيل. (عمل الباحث)

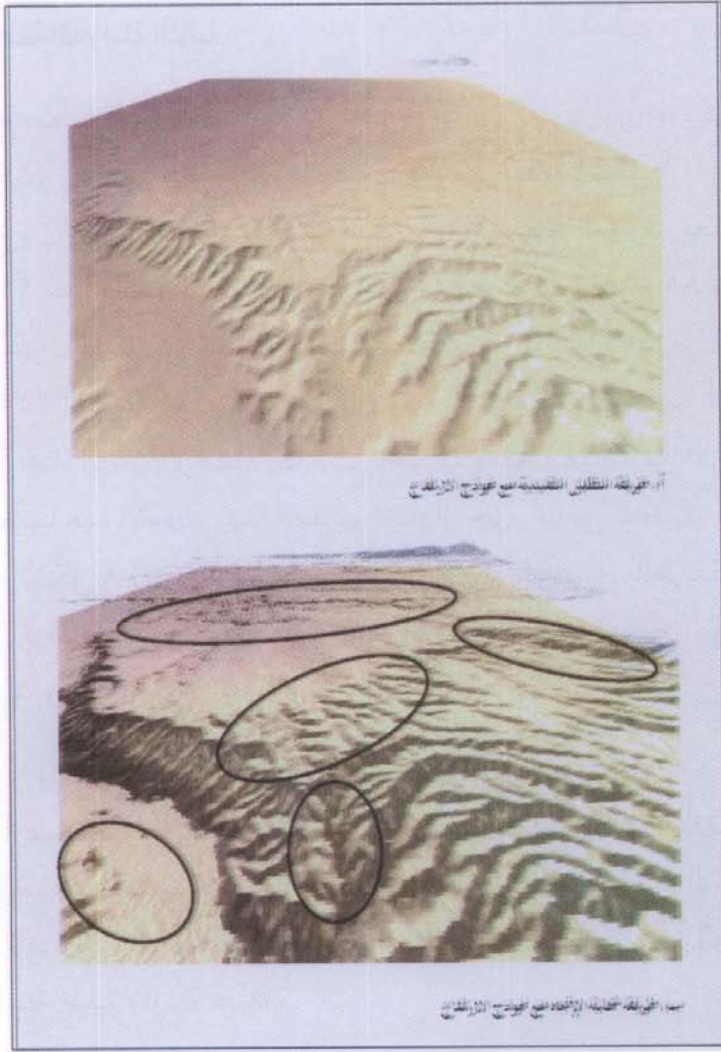


(أ) طريقة التظليل التقليدية مع نموذج الارتفاعات



(ب) طريقة التظليل المقترحة مع نموذج الارتفاعات

شكل ٦: مقارنة نتائج طريقتي التظليل التقليدية وشمالية الاتجاه للجزء الجنوبي الشرقي من منطقة الدراسة الأولى. نلاحظ وضوح تفاصيل السطح بطريقة شمالية الاتجاه (ب) مقارنة بتفاصيل السطح بطريقة التظليل التقليدية (أ) التي أنتجت تفاصيل معجمة. (عمل الباحث)



شكل ٧: مقارنة ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج ArcScene لنتائج طريقتي التظليل التقليدية وشمالية الاتجاه للجزء الجنوبي الشرقي من منطقة الدراسة الأولى. لاحظ بالذات وضوح التفاصيل في (ب) المشار إليها بالاشكال البيضاء (اللون الأحمر) بطريقة شمالية الاتجاه، مقارنة بتفاصيل السطح عند المناطق نفسها بطريقة التظليل التقليدية (أ). (عمل الباحث)



## ب) منطقة الدراسة الثانية :

تقع منطقة الدراسة الثانية في الجزء الجنوبي الغربي من المملكة العربية السعودية. ويتميز سطح هذه المنطقة بتضرس شديد (شكل ٨). إذ يتراوح الارتفاع بين ١٧ و ٢٤٦٦ متراً فوق مستوى معدل سطح البحر، وبمعدل ارتفاع ٩٢٨, ٢٧ متراً وانحراف معياري ١, ٣٧٠ متراً، ودرجة وضوح ٨٨ متراً و ٩٣ متراً، كأطوال لمضلع كل خلية. وقد تم اشتقاق نموذج الارتفاع هذا من خرائط ١: ٢٥٠, ٠٠٠ الطبوغرافية. وتتميز بكثرة الأودية العميقة التي تصب من الغرب إلى الشرق باتجاه البحر الأحمر. لذا تكثر الحواف والمنخفضات في الأجزاء التي توجد فيها هذه الأودية، لهذا فقد تم اختيار جزء خاص للتطبيق من منطقة الدراسة (شكل ٨ ب)، وذلك لتحديد كفاءة إبراز التفاصيل بالطريقة المقترحة، وتسهيل توضيح عملية المقارنة. أما منطقة الدراسة الخاصة فيتراوح الارتفاع فيها بين ٤٤٢ و ٢٢٩٤ متراً.

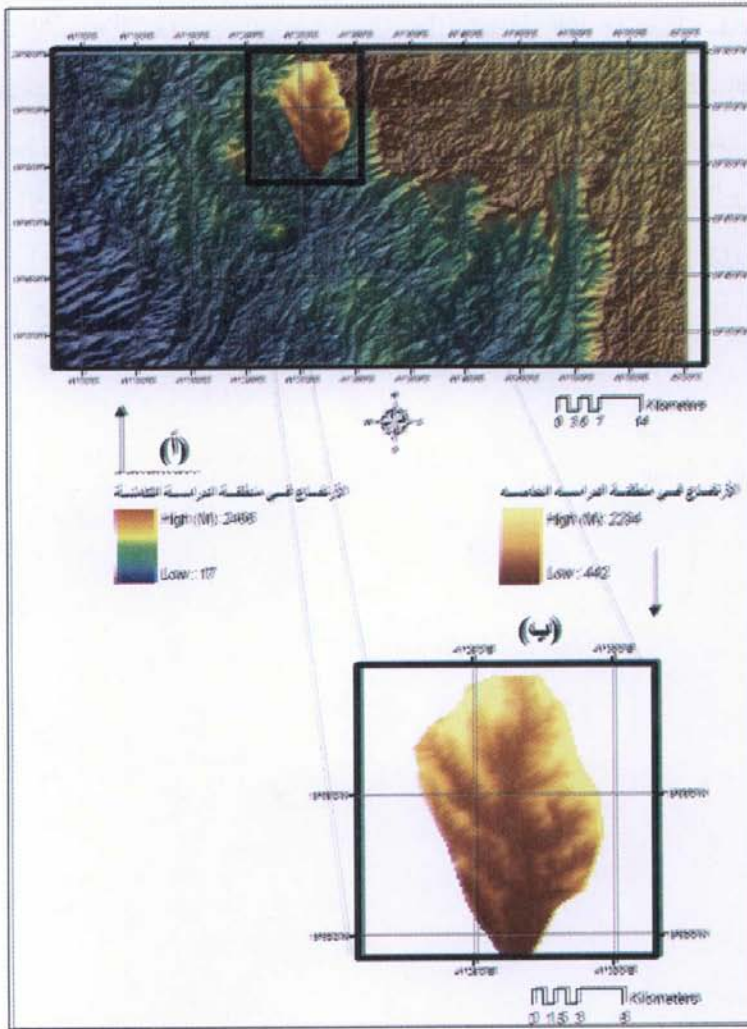
نرى بوضوح في شكل (٩) بروز تفاصيل السطح وروافد أودية وحوافها بشكل أوضح بطريقة شمالية الاتجاه (ب) مقارنة بطريقة التظليل التقليدية (أ). ووضوح تفاصيل السطح باستخدام الطريقة المقترحة يتطابق مع قيم الارتفاع ومع الواقع التضاريسي لهذه المنطقة الذي يعرفه الباحث تماماً، فالمنطقة في الواقع عبارة عن سلسلة جبلية وأودية عميقة.

أما شكل (١٠)، فيمثل مقارنة نتائج التظليل التقليدي (ب) وشمالية الاتجاه (أ) وشرقية الاتجاه لمنطقة الدراسة الثانية (الخاصة). نلاحظ وضوح تفاصيل السطح بطريقة شمالية الاتجاه (أ) خاصة في الأجزاء المشار إليها باللون الأحمر، مقارنة بتفاصيل السطح بطريقة التظليل التقليدية (ب). في حين أننا نلاحظ أن مطابقة طبقة شرقية الاتجاه مع شمالية الاتجاه (ج) (بنسبة شفافية ٤٥٪ و ٤٥٪، على التوالي) مع نموذج الارتفاع، لم تنتج سطحاً مختلف التفاصيل عن طبقة

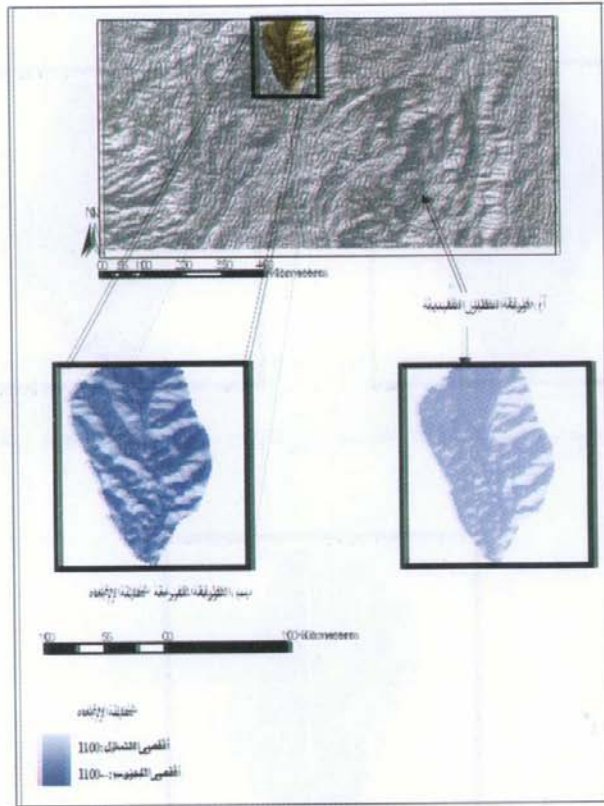


شمالية الاتجاه (أ). هذا من جانب يجيب على تساؤل القارئ حول مدى عرض طبقة متغير الشمالية (Northness) مع طبقة متغير الشرقية (Eastness)، إذ نرى أن ما أبرزه شكل ١٠ (أ) من تفاصيل باستخدام شمالية الاتجاه لم تزد عليه طريقة شرقية الاتجاه (ج)، خاصة في إبراز الحواف وبطون الأودية. وبهذه النتائج نرى أن التظليل بطريقة شمالية الاتجاه أفضل من نتائج التظليل بالطريقة التقليدية لمنطقة الدراسة الثانية (الخاصة).



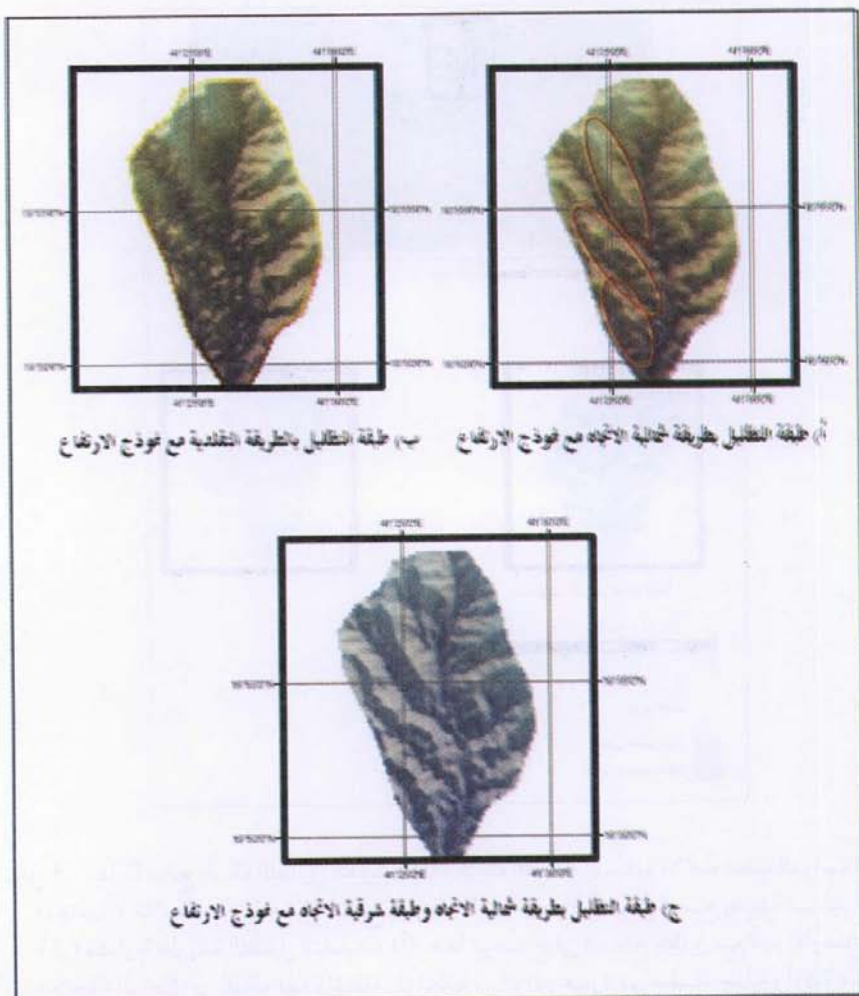


شكل ٨: نموذج ارتفاع منطقة الدراسة الثانية مع تظليل تقليدي (بنسبة شفافية ٤٥٪). تقع المنطقة في الجزء الجنوبي الغربي من المملكة العربية السعودية. تم اختيار منطقة دراسة خاصة (ب) للتطبيق من منطقة الدراسة الكاملة (أ) وذلك تسهيلاً للعمل وعرض ومناقشة النتائج (المصدر: المساحة العسكرية، وزارة الدفاع والطيران، ٢٠٠٢).



شكل ٩: مقارنة نتائج طريقة التظليل التقليدية (أ) وطريقة التظليل بشمالية الاتجاه لمنطقة الدراسة الثانية (الخاصة). نلاحظ بروز تفاصيل السطح وروافد الأودية وحوافها بشكل أوضح بطريقة شمالية الإتجاه (ب) مقارنة بطريقة التظليل التقليدية (أ). هذا الوضوح في السطح يتطابق مع قيم الارتفاع ومع ملاحظة الباحث في الواقع لهذه المنطقة، فالمنطقة في الواقع عبارة عن سلسلة جبلية وأودية عميقة. (عمل الباحث).





شكل ١٠: مقارنة نتائج التظليل التقليدي (ب) وشمالية الاتجاه (أ) وشرقية الاتجاه لمنطقة الدراسة الثانية (الخاصة). نلاحظ وضوح تفاصيل السطح بطريقة شمالية الاتجاه (أ) مقارنة بتفاصيل السطح بطريقة التظليل التقليدية (ب)، في حين نلاحظ أن مطابقة طبقة شرقية الاتجاه مع شمالية الاتجاه (ج) (بنسبتي شفافية ٤٥٪ و ٤٥٪، على التوالي) مع نموذج الارتفاع، لم تنتج سطحاً مختلف التفاصيل عن طبقة شمالية الاتجاه (أ). (عمل الباحث)

## خامساً: خاتمة

استعرض هذا البحث استخدام طريقة التظليل التقليدي (Hillshading) وبين في مقارنة نتائج استخدام طريقة بديلة مقترحة للتظليل سميت في هذا البحث بشمالية الاتجاه كترجمة لمصطلح: Northness وتعد شمالية الاتجاه طريقة معروفة في التطبيقات والدراسات البيئية التي تتطلب متغيراً ذا قيم متصلة مشتقة من قيم اتجاه الانحدار (Aspect). لذا فالطريقة نفسها ليست جديدة وإنما البحث اقترح باستخدامها في عملية التظليل التي عادة ما ينفذها المستخدمون في نظم المعلومات بشكل روتيني، وكأداة مهمة في الاستعراض الخرائطي (Cartographic Visualization) للبيانات المكانية. غير أن هذه الدراسات لم تشر إلى إمكانية استخدام هذه الطريقة في التظليل كبديل للطريقة التقليدية، ولم يكن هناك مرجع قارن بين الطريقتين من منظور إبراز تفاصيل السطح. وقد بينت النتائج في هذا البحث أن استخدام طريقة التظليل بشمالية الاتجاه أبرزت تفاصيل السطح الطبوغرافي لنماذج الارتفاع بشكل أفضل مقارنةً مع نتائج التظليل بالطريقة التقليدية تحت مسمى: Hillshading المتوافرة في نظم المعلومات الجغرافية.

لقد أراد الباحث أن يوضح من خلال هذه النتائج أن المستخدم في الحقيقة يريد أن يرى تفاصيل السطح بقدر ما هو موجود في نماذج الارتفاعات على أقل تقدير. إذ أن المستخدم ليس بالضرورة أن يستخدم التظليل لإنتاج طبقة خلفية للبيانات المكانية، لدعم النواحي الفنية الجمالية في الإخراج الخرائطي. إذ أن الضرورة تقتضي أن يرى المستخدم بوضوح تفاصيل السطح بأكبر قدر ممكن، وليس الهدف تعميم التفاصيل كما تبينه وبينته نتائج التظليل بالطريقة التقليدية. وتزداد الأهمية في نتائج استخدام التظليل بالطريقة المقترحة عندما يكون الهدف من إبراز تفاصيل السطح معرفة أثر بعض عمليات المعالجة والتحويل للبيانات، مثل دراسة ونمذجة الخطأ (Error) والضعابية (Uncertainty) للبيانات المكانية. فرأينا كيف بدا السطح متدرجاً بشكل واضح في شكل (٤) وشكل (٥)، مما يوحي أن

ذلك قد يكون إلى حد كبير نتيجة عمليات إنتاج نموذج الارتفاع لتلك المنطقة.

إن اقتراح استخدام طريقة شمالية الاتجاه قابلة للتطبيق من قبل الباحثين ومن خلال التطبيق على نماذج ارتفاعات آلية مختلفة التفاصيل. وما هذه الورقة إلا جهد إضافي لما هو موجود من مراجع ودراسات هدفها تقديم طرق أخرى للتظليل أكثر كفاءة في تمثيل تفاصيل السطح بأقصى دقة ممكنة. ولعل نتائج تطبيق هذه الطريقة تشجع الباحثين والمستخدمين في تبني طريقة التظليل بشمالية الاتجاه ودراساتها وتطويرها.



المساحة العسكرية - وزارة الدفاع والطيران ، المملكة العربية السعودية  
٢٠٠٢ . " نموذج ارتفاع آلي لمنطقة الباحة " BAHAAH.DT1 ، سلسلة نماذج  
الارتفاع الآلي لخرائط ١ : ٢٥٠,٠٠٠ ، النسخة الأولى (Version 1.1) ،  
الرياض، المملكة العربية السعودية.

Barnes, D. 2002. Using ArcGIS to Enhance Topographic Presentation, Cartographic Perspectives 42: 5-11.

Beers, T., P. Dress, and L. Wensel. 1966. Aspect transformation in site productivity research. American Scientist 54: 691-692.

Buckley, A. and D. Barnes. 2004. ArcGIS Cartography: Creating Advanced Effects for Cartography in ArcMap. In Proceeding of ESRI International User Conference 2004. Electronic Version: WWW.URL:

[http://www.geog.ubc.ca/courses/geog376/notes/cartography/Creating\\_Advanced\\_Effects\\_with\\_ArcMap.pdf](http://www.geog.ubc.ca/courses/geog376/notes/cartography/Creating_Advanced_Effects_with_ArcMap.pdf)

Clark, D., M. Palmer, and D. Clark. 1999. Edaphic Factors and the Landscape-Scale Distributions of Tropical Rain Forest Trees. Ecology 80(8): 2662 - 2675.

Chen, x., I. Bishop, and A. AbdulHamid. 2002. Community Exploration of Changing Landscape Values: The Role of Virtual Environment. In Proceedings of Digital Image Computing ? Techniques and Applications. Melbourne, Australia, pp. 273-278.

Dahms, H., C. Wellstein, V. Wolters and J. Dauber. 2005. Effects of management practices on ant species richness and community composition in grasslands (Hymenoptera: Formicidae). Myrmecologische Nachrichten 7: 9 - 16.

Deems, J., K. Birkeland, and K. Hansen. 2002. Topographic influence on the spatial patterns of snow temperature gradients in a mountain snowpack. In

Proceedings of the 2002 International Snow Science Workshop, Penticton, BC, Canada, pp. 384-391.

ESRI! Inc. 1999-2004. ESRI? ArcGIS? 9.1, Environmental Systems Research Institute (ESRI), Redlands, LA, California, USA.

Environmental Systems Research Institute (ESRI). 1996. ESRI's Virtual Campus Working with the ArcView Spatial Analyst. URL: <http://www.esri.com>

Guisan, A., S. Weiss, and A. Weiss. 1999. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology* 143: 107-122.

Hirzel, A., B. Posse, P. Oggier, Y. Crettenand, C. Glenz, and R. Arlettaz. 2004. Ecological requirements of reintroduced species and the implications for release policy: the case of the bearded vulture. *Journal of Applied Ecology* 41: 1103-1116.

Imhof, E. 1982. Cartographic Relief Presentation. H.J. Steward (Ed.) Walter de Gruyter. Berlin.

Kennelly, P. and A. Kimerling. 2001. Hillshading Alternatives, New Tools Produce Cartographic Effects. *ArcUser*, July-September 2001. ESRI 1995-2006. Online Version, URL:

<http://www.esri.com/news/arcuser/0701/althillshade.html>

Mark, R. 1992. A Multidirectional, oblique-weighted, shaded-relief image of the Island of Hawaii., U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, open-file report, 92-422.

McEachren, A., M. Kraak and E. Verbree. 1999. Cartographic issues in the design and application of virtual geoinformation environments. In *Proceedings ICA 19th ICC*, Ottawa, pp. 657-666 (session 22-D on CD-ROM).

Molotch, N., T. Painter, R. Bales, and J. Dozier. 2004. Incorporating remotely-sensed snow albedo into a spatially-distributed snowmelt model.

Geophysical Research Letters (31), L03501, doi:10.1029/2003GL019063.  
Online Version, URL:

<http://cires.colorado.edu/people/molotch/2003GL019063.pdf>

Molotch, N., R. Bales, M. Colee, and J. Dozier. 2005. Estimating the spatial distribution of snow water equivalent in an alpine basin using binary regression tree models: the impact of digital elevation data and independent variable selection. *Hydrological Processes* 19 (7): 1459-1479, doi: 10.1002/hyp.5586, 2005.

Nighbert, J. 1998. Creating Beautiful 'Painted Relief' Using ArcInfo. In *Proceedings of the ESRI Users' Conference*, San Diego, CA. pp. 842- 850. URL:<http://www.esri.com/library/userconf/proc98/PROCEED/TO850/PAP842/P842.HTM>

Verbree, E., G. V. Maren, R. Germs, F. Jansen and M. Kraak. 1999. Interaction in virtual world views-linking 3D GIS with VR. *International Journal of Geographical Information Science* 13(4): 385-396.

Wood, J. 1996. The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models. Unpublished Ph.D. Thesis, University of Leicester, UK.

Zaksek, K., and T. Podobnikar. 2005. An Effective DEM Generalization With Basic GIS Operation. 8th ICA WORKSHOP on Generalisation and Multiple Representation, A Coru? a, July 7-8th, 2005.

Online Version URL:

[http://aci.ign.fr/Acoruna/Papers/Zaksek\\_Podobnikar.pdf](http://aci.ign.fr/Acoruna/Papers/Zaksek_Podobnikar.pdf)